

CLIMAT & DÉBATS

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE, RÉNOVATION, CONSOMMATION D'ÉNERGIE : UN REGARD NOUVEAU

Marc BAUDRY^{1*, 2*}, Edouard CIVEL^{1*, 3*}, Anna CRETINI^{1*, 4*}

Deux travaux de recherche originaux nous permettent de contribuer au débat sur l'efficacité énergétique : une analyse agrégée (i.e. méta-analyse) de la littérature académique sur les rénovations énergétiques et une étude empirique de la consommation réelle d'énergie des maisons françaises.

Notre méta-analyse des études menées sur les rénovations énergétiques sur différents pays (essentiellement Europe et Amérique du Nord) démontre que :

- Les travaux de rénovation énergétique génèrent une réduction statistiquement significative de la facture d'énergie des ménages. Ainsi, pour des travaux de rénovation énergétique d'un montant de 3 970 €, la méta-analyse prédit une réduction de 11,6 % de la facture.

Notre étude empirique permet une analyse en coupe de la consommation réelle d'énergie de plus de 130 000 maisons en France. Si une dispersion très importante des consommations réelles est constatée pour un même besoin annuel en énergie finale tel que calculé par le Diagnostic de Performance Énergétique (DPE), l'étude met en évidence une évolution en « S » de la consommation réelle moyenne au regard de la performance :

- Les maisons dont le DPE prédit une meilleure performance, majoritairement des logements classés A, B et C, ont logiquement les consommations d'énergie réelles les plus faibles de l'échantillon. Lorsque la performance se dégrade, la consommation réelle moyenne d'énergie finale augmente fortement. Enfin, cette consommation continue d'augmenter mais beaucoup plus modérément pour les logements les moins performants (majoritairement des classes E, F et G), menant à cette courbe en « S ». Cette saturation peut notamment être expliquée par la contrainte budgétaire des ménages.
- L'amélioration de la performance énergétique des logements peu performants a donc paradoxalement un effet marginal croissant sur la réduction de la facture énergétique. Dans le cadre de rénovations par gestes, les gains initiaux de performance énergétique seraient essentiellement convertis en rattrapage de confort par les ménages qui étaient dans une situation de forte restriction (mécanisme identifié sous le nom de "prebound effect")

dans la littérature). En revanche les rénovations dites lourdes ou performantes, vont permettre des gains substantiels sur la consommation d'énergie réelle.

Pour s'assurer de l'efficacité de la dépense publique, si les aides à la rénovation ont pour objectif la baisse des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre, alors elles doivent cibler en priorité la réalisation des rénovations permettant d'atteindre à terme la classe B du DPE, et chez des ménages en situation de précarité énergétique, ce qui permet de répondre au double enjeu de transition écologique et juste.

JEL Codes: Q41, Q48, C18, D12

- 1* - Chaire Économie du Climat
- 2* - EconomiX, Université Paris-Nanterre.
- 3* - Square Research Center, Square Management
- 4* - Université Paris Dauphine-PSL

Remerciements : Les auteurs souhaitent remercier les partenaires de l'initiative de recherche EcoReBa qui ont financé et soutenu les travaux de la Chaire Économie du Climat sur la performance énergétique des logements. Les auteurs souhaitent également remercier les doctorants et assistants de recherche qui ont contribué à ces travaux de recherche (Romain Presty, Assil El Morchid et Julie Voyron).

KEY-WORDS

Rénovation énergétique

Logements

Méta-analyse

Diagnostic de Performance Énergétique

1 Introduction

La décarbonation du secteur du bâtiment est un pilier de la politique climatique et énergétique française. Les émissions de ce secteur s'élèvent à 58,4 Mt eqCO_2 en 2023, soit 16% des émissions nationales (SDES, 2023) et se répartissent entre le résidentiel (62%) et le tertiaire (38%). L'essentiel des émissions directes provient du chauffage des bâtiments (à 80% dans le résidentiel en 2020), de la production d'eau chaude sanitaire (13% dans le résidentiel) et de la cuisson des aliments (7%). S'y ajoutent les émissions indirectes liées aux usages spécifiques électriques. En termes de trajectoire, l'évolution des émissions a été conforme à l'évolution attendue, avec même une baisse plus rapide sur la période 2019-2023 (-4,3 Mt eqCO_2/an) que celle prévue par le budget carbone de la SNBC 2 (-3,2 Mt eqCO_2/an). L'objectif pour le secteur reste celui de la neutralité carbone à horizon 2050, au moyen d'une décarbonation des sources énergétiques, d'une amélioration de l'efficacité énergétique, et de changements comportementaux en faveur d'usages plus sobres.

Si ce dernier chiffre est encourageant, il faut prendre en compte plusieurs facteurs contingents, notamment la hausse des prix de l'énergie en 2022 et 2023 accompagnée d'une campagne de communication sur la sobriété, qui ont eu un impact baissier sur la consommation. En effet, le parc compte encore un socle de passoires énergétiques important : au 1er janvier 2023, en incluant les résidences secondaires et les logements vacants, on estime à 6,6 millions le nombre total de passoires énergétiques. La SNBC 2, en ligne avec le dernier rapport du Haut Conseil pour le Climat (2024) par ailleurs, souligne que les politiques publiques doivent soutenir à la fois la décarbonation du secteur du bâtiment et les gains d'efficacité. L'instrument servant de boussole pour atteindre ce double objectif, le Diagnostic de Performance Énergétique (DPE), est cependant régulièrement remis en cause car il ne prend en compte qu'une consommation théorique (voir la note récente publiée par le Conseil d'Analyse Économique, Astier et al., 2024).

Dans ce paysage contrasté, il nous semble utile de développer des arguments basés sur nos recherches récentes en matière d'efficacité énergétique. Deux documents de travail publiés ce mois-ci par la Chaire Économie du Climat permettent de jeter un regard nouveau sur ces questions (Baudry et al., 2024; Civel et al., 2024). Nous présentons ici nos résultats clés, pour informer le débat sur les instruments de politique énergétique et climatique, en nous concentrant sur le segment résidentiel. Notre perspective est nouvelle car elle associe une méta-analyse des recherches menées sur la performance des rénovations énergétiques à un travail sur la consommation d'énergie réelle des logements. L'objectif est double : d'une part analyser la littérature et ses résultats sur l'impact de la rénovation, en particulier sur la baisse de la facture d'énergie ; d'autre part, comprendre les multiples déterminants de la consommation d'énergie des logements.

La combinaison de ces résultats livre plusieurs enseignements utiles au débat sur les politiques d'efficacité énergétique. Tout d'abord, la méta-analyse confirme que les rénovations énergétiques, bien qu'hétérogènes dans leurs résultats, permettent en moyenne une réduction significative des factures énergétiques. Ensuite, l'étude empirique souligne les disparités importantes entre consommation théorique et consommation réelle, en révélant notamment un "prebound effect" pour les logements énergivores et des gains non linéaires liés à la performance. Enfin, ces résultats plaident pour un ciblage plus précis des politiques publiques, afin de maximiser les impacts sociaux et environnementaux des investissements dans la rénovation énergétique.

2 La méta-analyse sur les effets de la rénovation

Depuis plusieurs années, voire décennies, les études cherchant à quantifier les gains associés aux rénovations ont produit des résultats parfois contrastés. Afin d'en dégager une tendance et éclairer le débat public, une méta-analyse s'avère utile. Cette méthode économétrique résume et synthétise les résultats quantitatifs de plusieurs études (Chabé-Ferret, 2022). Son objectif est d'obtenir une meilleure précision de l'effet moyen estimé en contrôlant d'éventuels biais de publication, de l'hétérogénéité dans la précision des études, et de variations dans l'efficacité du traitement en raison des différences des contextes et des caractéristiques des études recensées. C'est une technique qui utilise un ensemble de données composé d'unités fondamentales,

qui sont des études plutôt que des individus. Selon Borenstein et al. (2021), si la taille de l'effet est cohérent dans une série d'études, une méta-analyse permet de conclure que l'effet est robuste à travers les types de populations échantillonnées, et également d'estimer l'ampleur de l'effet avec plus de précision qu'avec chacune des études prises individuellement. Si l'effet du traitement varie à travers la série d'études, cette procédure de méta-analyse nous permet de rendre compte de l'étendue des effets et d'estimer un effet synthétique conditionnel aux facteurs influençant la taille de l'effet.

Le critère clé que nous avons retenu pour sélectionner les études est qu'elles fournissent une estimation des économies d'énergie après rénovation et qu'elles incluent le coût moyen de la rénovation par logement dans l'échantillon qu'elles traitent. Ces études affichent des résultats calculables, avec la possibilité de changer leur unité de mesure. En outre, les publications prises en compte permettent de retrouver les informations qui ne sont pas directement fournies (comme le pourcentage d'économies d'énergie lorsque nous avons les économies en kWh et la consommation d'énergie moyenne totale, ou le coût de la rénovation lorsque nous avons chaque type de mesure entreprise et les coûts moyens). Cela peut être étendu en ajoutant la possibilité d'utiliser les informations du programme de rénovation. Nous avons considéré les informations permettant de retrouver l'erreur standard de l'estimation, telles qu'un intervalle de confiance ou un écart type. Enfin, nous avons sélectionné seulement les travaux publiés et donc validés par des revues à comité de lecture. Par conséquent, l'abondante littérature grise sur le sujet n'a pas été intégrée dans l'échantillon, qui comprend 46 études publiées entre 1984 et 2022. Les résultats de ces études restent assez hétérogènes, et liés au contexte (études sur des programmes ciblés, des périodes relativement courtes ou des échantillons ad hoc). La méta-analyse apparaît donc une technique pertinente pour les synthétiser.

La variable choisie pour représenter les résultats est le gain associé à la rénovation. Le coût moyen des rénovations étudiées est de 3 970 € (les coûts individuels allant de 400 € à 13 135 €, le coût médian est de 3 887 €). Le gain associé aux rénovations est exprimé en pourcentage de diminution de la facture énergétique. Sur l'ensemble d'études traité, le gain minimum est de 1% et le maximum de 33,4%.

La Figure 1 illustre l'hétérogénéité des résultats obtenus sur les différentes études. Chaque étude est positionnée par son année de publication sur l'axe horizontal et son estimation du pourcentage d'économies sur la facture d'énergie consécutives au programme de rénovation traité par l'étude sur l'axe vertical. Le trait vertical associé à chaque point donne l'intervalle de confiance de l'estimation des économies, c'est dire l'intervalle dans lequel se trouve avec 95% de chances la "vrai" valeur de ces économies compte tenu de la marge d'erreur de l'étude. La Figure 1 fait apparaître deux principales « vagues » d'études. Une première dans les années 1980 consacrée à l'évaluation de programmes de rénovation en réponse aux chocs pétroliers. Les études correspondantes traitent quasi exclusivement de programmes menés aux Etats Unis et les évaluations se font à une échelle très locale. La seconde vague apparaît à partir des années 2010, les programmes correspondant ajoutent souvent à la problématique des économies d'énergie celle de la baisse des émissions de gaz à effet de serre et ont une couverture géographique plus variée couvrant, outre les Etats Unis, des pays européens.

La simple moyenne des économies d'énergie sur les différentes études ne saurait toutefois fournir une valeur synthétique fiable de leurs résultats pour plusieurs raisons que traite la méta-analyse. Tout d'abord, comme le met en évidence la Figure 1, les marges d'erreur sont assez différentes d'une étude à l'autre. Prendre en compte ces différences, c'est-à-dire en termes plus statistiques prendre en compte l'hétéroscédasticité, conduit à pondérer les études par l'inverse de l'écart type de chacune d'entre elles pour estimer l'effet synthétique. Les marges d'erreur peuvent également trahir un biais de publication. En effet, une étude aura d'autant plus de chance d'être publiée en dépit d'une marge d'erreur élevée que l'estimation de l'effet qu'elle fournit est elle-même élevée. Dit autrement, les revues tendent à éliminer les études donnant des résultats peu significatifs et faibles. Les tests usuels indiquent que les études collectées dans le cadre de ce travail ne font pas exception à cette tendance. Il convient donc de contrôler de ce biais dit « de publication » en considérant que le niveau des estimations des économies d'énergie dépend de l'écart type de l'estimation fournie. De manière sans doute plus intuitive, il faut s'attendre également à ce que ce niveau soit fonction des caractéristiques du programme de rénovation évalué (s'agit-il de logements utilisant le gaz

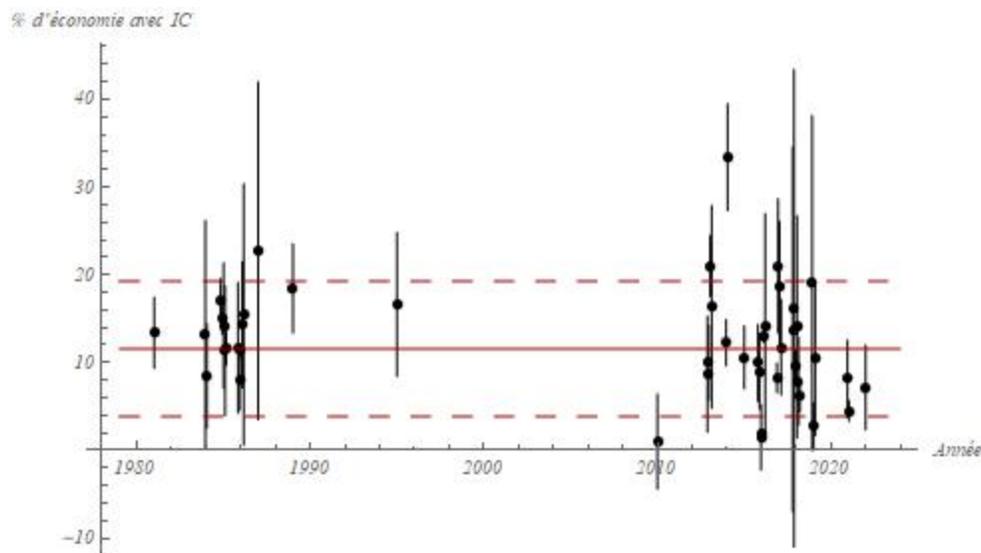


Figure 1: % d'économies estimé par les différentes études de la méta-analyse avec leur intervalle de confiance (en noir) selon leur date de publication et résultat synthétique de la méta-analyse avec son intervalle de confiance (en rouge)

ou l'électricité, le programme cible-t-il des ménages à faible revenu, quel est le coût moyen des opérations de rénovation menées, sur quels éléments du logement ces opérations portent-elles...) ainsi de la méthode mise en œuvre pour l'évaluation. Contrôler de l'ensemble de ces caractéristiques permet d'expliquer une part substantielle de l'hétérogénéité des résultats fournis par les différentes études mais il reste néanmoins des sources d'hétérogénéité non observée qu'il s'avère nécessaire de prendre en compte par un modèle de méta-régression dit « à effets aléatoires ». C'est ce modèle le plus complet qui est utilisé pour calculer une valeur synthétique des économies réalisées sur les factures d'énergie sur les différents programmes de rénovation étudiés.

En rendant les études comparables et en recalculant l'effet estimé "au point moyen" des études ainsi que l'intervalle de confiance autour de cet effet grâce au modèle de méta-régression le plus complet, l'effet moyen obtenu est alors d'environ 11,6% d'économie sur la facture pour un investissement moyen de 3 970 € et il est statistiquement significatif. Sur la Figure 1, cet effet estimé au point "moyen" correspond au trait horizontal rouge continu. L'intervalle de confiance à 95% associé se positionne entre les deux traits horizontaux rouges en pointillés. Cet intervalle de confiance (donnant un effet synthétique de 3,9% à 19,3%) exclut plusieurs études pour lesquelles le pourcentage d'économie estimé apparaît comme anormalement élevé, mais aussi plusieurs autres études pour lesquelles il apparaît comme anormalement faible.

Si les rénovations ont donc un impact significatif permettant de réduire la facture, ce gain doit être comparé avec les montants investis dans l'échantillon, rappelés ci-dessus. Il s'agit donc de rénovations relativement modestes. Dans le cas français, Civel (2019) a estimé les gains de performance énergétique atteignable avec de tels investissements. Ce montant permettrait un saut d'une classe. Dans le cas d'une maison standard non isolée au démarrage cela représenterait le passage de la classe F à la classe E du DPE.

3 Étude sur les consommations énergétiques réelles

Parmi les résultats étudiés dans la précédente section, certains auteurs ont pointé une faible performance des rénovations énergétiques, soulignant que les économies d'énergie pouvaient être modestes voire inexistantes. Si les résultats de la méta-analyse soulignent que les gains sont réels, ils n'en demeurent pas moins décevants au regard de ceux prédits par une approche purement technique de la consommation d'énergie. En réalité, les gains d'efficacité énergétique ne peuvent être analysés seuls car les déterminants de la consommation d'énergie d'un ménage pour son logement sont multiples. Notre second document de travail étudie l'influence de différents facteurs sur la consommation d'énergie réelle du logement et leurs interactions. Plus précisément, notre méthode permet d'estimer les élasticités de la consommation d'énergie réelle selon plusieurs dimensions structurantes : la surface du logement, le revenu des ménages, le prix de l'énergie, et la performance intrinsèque du logement.

Pour y parvenir, nous exploitons un changement réglementaire dans les Diagnostics de Performance Énergétique (DPE). Avant 2021, ceux-ci pouvaient être réalisés de deux façons : soit selon un modèle thermique (calcul avec la méthode dite "3-CL") qui évalue les besoins et les consommations énergétiques du logement selon son emplacement géographique, son niveau d'isolation et ses équipements, soit selon les factures énergétiques du logement. Cette deuxième méthode, en théorie réservée aux logements anciens (construits avant 1948) était en réalité utilisée plus largement et représentait environ 20% des DPE réalisés avant 2021. Depuis mi-2021, seule la première méthode (celle avec calcul) est autorisée pour réaliser les DPE. Or, les DPE réalisés avant 2021 deviennent progressivement obsolètes : un logement ayant un ancien DPE doit donc en réaliser un avec cette nouvelle méthode si le propriétaire souhaite vendre ou louer son bien. Nous exploitons les bases publiques de l'Ademe (disponibles sur l'Observatoire des DPE) afin d'identifier des maisons pour lesquelles sont disponibles à la fois un premier DPE réalisé sur factures avant 2021 et un second DPE réalisé sur modèle thermique après 2021. La prise en compte du temps écoulé entre les deux diagnostics fournit un proxy de la probabilité d'une éventuelle réalisation de travaux.

Nous obtenons ainsi un échantillon de plus de 130 000 maisons pour lesquelles nous disposons à la fois de l'information sur leur consommation réelle d'énergie finale (grâce au DPE réalisé sur facture), sur leur consommation calculée avec le nouveau DPE et une série d'informations sur les caractéristiques techniques du bien : besoins énergétiques, énergie(s) utilisée(s), superficie du logement, nombre d'étages. . . Les distributions de ces variables pour la base de données que nous avons constituée se révèlent proches de celles de l'ensemble des 10 millions de DPE réalisés depuis mi-2021, témoignant d'une représentativité raisonnable du parc français de maisons individuelles, en considérant que les 10 millions de DPE réalisés depuis 2021 le sont.

Outre les variables précédemment mentionnées indiquant les besoins en énergie finale de la maison, sa superficie et son nombre d'étages, nous ajoutons deux autres variables pour expliquer la consommation réelle d'énergie. Tout d'abord les degré-heures de référence pour le département où est localisé le bien, métrique qui indique les besoins de chauffage compte tenu de la rigueur climatique locale. Nous ajoutons en outre une indicatrice du prix de l'énergie pertinente pour chaque ménage à partir du mix énergétique propre à chaque maison. En effet une maison peut avoir un ou plusieurs modes de chauffages (fioul, bois, gaz, électricité. . .), une énergie pour la production d'eau chaude sanitaire qui peut différer (généralement gaz ou électricité) et enfin des usages spécifiques à l'électricité pris en compte par le DPE (éclairage, climatisation. . .). L'indicatrice de prix est construite en pondérant les prix des 15 énergies référencées par leurs poids dans le besoin énergétique global du logement. Les références de prix choisies correspondent au prix de cette énergie l'année précédant la réalisation du DPE sur facture. Enfin, nous introduisons pour chaque maison une variable correspondant au revenu médian de la commune dans laquelle elle se trouve. Ce proxy nous permet de contrôler des effets de revenu, dont nous anticipons un effet important sur les comportements de consommation d'énergie des ménages. D'autres variables sont importantes pour la consommation d'énergie, telles que le taux d'occupation des logements (retraités vs actifs) ou encore le nombre de personnes dans le foyer, mais nous n'avons pas accès à cette hétérogénéité inobservée. Cepen-

dant, l'absence de ces données est très courante dans les études menées sur la consommation d'énergie, et ne nous empêche pas d'expliquer au moyen des variables structurelles mentionnées précédemment d'expliquer une part majeure des variations de consommation.

Notre spécification principale vise à expliquer la consommation d'énergie finale réelle des ménages (en kWhEF/an) en fonction du besoin en énergie finale calculé par le DPE (en kWhEF/an), de la surface du logement (en m²), du prix de l'énergie (en €/kWhEF) et du revenu médian des ménages de la commune (en €/an). D'autres variables de contrôle peuvent être ajoutées dans des déclinaisons de cette spécification principale, telles que le nombre d'étages de la maison ou le temps qui s'est écoulé entre les deux diagnostics, dont les résultats sont cohérents mais ne modifient pas significativement les effets des variables principales susmentionnées.

Afin de rendre les résultats plus lisibles, nous spécifions un modèle en log-log, c'est-à-dire que nous régressons le logarithme de la consommation réelle sur les logarithmes des différentes variables. Les coefficients ainsi obtenus peuvent être interprétés comme des élasticités. L'élasticité est un concept fondamental en économie qui mesure la réactivité ou la sensibilité d'une variable par rapport à un changement dans une autre variable. Ici cela signifie qu'un coefficient de 0,18 sur notre variable "revenu" doit être interprété comme suit : toutes choses égales par ailleurs, une maison dans une commune au revenu médian 10% plus élevé consommera 1,8% plus d'énergie.

Notre spécification en log-log permet donc d'estimer l'élasticité de la consommation réelle d'énergie finale au prix de l'énergie, au revenu médian de la commune, à la surface du logement et à la "Performance DPE". Afin de simplifier l'interprétation, cette dernière variable est définie comme l'inverse du besoin en énergie finale calculé par le DPE. Ainsi, une réduction du besoin prédit par le DPE correspond à une augmentation de la variable "Performance DPE". Nos résultats pour chacune de ces variables sont hautement significatifs et mettent en évidence plusieurs éléments :

- L'élasticité au "Prix de l'énergie" de la variable "Consommation d'énergie" est estimée à -0,84. Cela signifie qu'une augmentation des prix de l'énergie de 10% mène à une réduction de la consommation de 8,4%. Ce résultat est remarquablement en ligne avec les autres estimations de la littérature, et en particulier celle effectuée par l'INSEE sur données françaises (voir Auray et al. (2019)).
- L'élasticité au "Revenu" de la variable "Consommation d'énergie" est estimée à +0,18. En dépit d'une variable "Revenu" construite comme un proxy imparfait du revenu du ménage, notre résultat est cohérent avec la littérature académique. Un même logement dans une commune où le revenu médian est 10% plus élevé consommera donc 1,8% plus d'énergie.
- L'élasticité à la "Surface habitable" de la variable "Consommation d'énergie" s'élève quant à elle à +0,58. Toutes choses égales par ailleurs, un logement dont la surface sera 10% plus grande ne consommera "que" 5,8% d'énergie en plus. Cela pourrait témoigner de la capacité des ménages à moduler leur consommation selon l'occupation effective de leur bien, en chauffant par exemple uniquement les pièces à vivre et en réduisant le chauffage dans les chambres.
- L'élasticité à la "Performance DPE" de la variable "Consommation d'énergie" est estimée à -0,33. Toutes choses égales par ailleurs, une amélioration de 10% de la performance en énergie finale calculée par le DPE (par exemple par une diminution des pertes thermiques grâce à un geste d'isolation ou le remplacement de la chaudière) se traduit initialement par une diminution de 3,3% de sa consommation réelle, modulo l'effet du terme au carré discuté juste après.
- L'élasticité au terme "Performance DPE" au carré est également fortement significative et présente un coefficient négatif (-0,01). Cela met en évidence un effet non-linéaire de la performance sur la consommation réelle d'énergie finale : plus la performance de la maison s'améliore, et plus la réduction de la consommation d'énergie finale est importante.

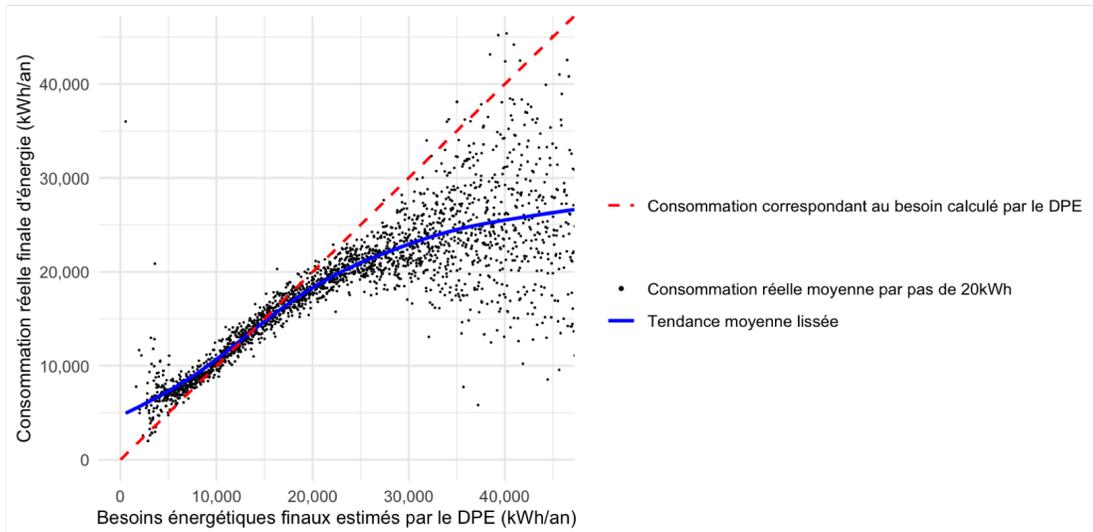


Figure 2: Consommation réelle moyenne (kWhEF/an) vs Besoin calculé par le DPE (kWhEF/an)

Afin de mieux comprendre les comportements des ménages, nous avons étoffé notre spécification par des termes d'interaction avec les variables susmentionnées. Il apparaît ainsi que l'introduction d'une interaction entre la variable "Revenu" et la variable "Performance DPE" est significative et positive. Cela signifie qu'à la suite d'une amélioration de la performance énergétique d'un logement, la réduction des consommations est plus forte pour les ménages à hauts revenus que pour les ménages à faibles revenus, ce qui est cohérent avec un rattrapage de confort chez les ménages en situation de précarité énergétique. De la même manière, introduire des interactions entre la "Performance DPE" et le "Prix de l'énergie" ou encore avec la "Surface habitable" génère une modification substantielle des coefficients. L'interaction "Performance DPE" et "Prix de l'énergie" est négative : lorsque le prix de l'énergie augmente, l'amélioration de la performance se traduit par une plus forte réduction de la consommation d'énergie réelle. De même, lorsque la surface habitable augmente, l'amélioration de la performance se traduit par une plus forte réduction de la consommation d'énergie. Ces interactions démontrent que la modification du comportement de consommation d'énergie des ménages face à un changement de la performance de leur logement (grâce à une isolation ou grâce au remplacement de leur chaudière par un système de chauffage plus efficace par exemple) est fortement dépendante d'autres variables.

Le modèle complet incluant toutes les interactions permet donc de mieux comprendre la dynamique à l'œuvre. La consommation d'énergie réelle forme une courbe en "S" selon la consommation calculée par le DPE. La Figure 2 présente cet effet : nous y traçons la consommation totale réelle d'énergie finale des maisons en fonction du besoin en énergie finale calculé par le DPE. En raison des effets surface et des coefficients de transformation énergie finale/énergie primaire, les logements avec les plus importants besoins en énergie finale dans l'absolu ne sont pas tous catégorisés en passoires énergétiques (F ou G) et réciproquement pour les logements dont les besoins sont les plus faibles, qui ne sont pas tous catégorisés A ou B.

La dispersion importante des consommations réelles observées pour les logements peu performants peut s'expliquer de plusieurs façons : la privation de confort inégale chez les ménages occupant des biens très inefficaces, des opportunités de modulation des espaces chauffés variables d'un bien à l'autre, ou encore des erreurs de mesure pour ces logements particuliers.

4 Discussion & Perspectives

Une analyse intéressante peut être dressée à partir de la Figure 2, mettant en perspective les résultats de la méta-analyse présentée précédemment. En effet cette dernière couvrirait des travaux de rénovation dont les montants s'élevaient en moyenne à 3 970 €, avec une médiane à 3 887 €. Nous avons identifié un effet robuste de réduction de la consommation d'énergie réelle par ces travaux de rénovation de l'ordre de 11,6%.

Afin de permettre une comparaison avec cette figure qui dépeint des maisons localisées en France, nous utilisons les travaux de Civel (2019) qui a estimé les coûts de rénovation et les consommations conventionnelles d'énergie pour des maisons standards. En partant d'une maison non-isolée (typiquement les biens construits avant 1974 et l'introduction des réglementations thermiques, soit plus de la moitié du parc français), la consommation d'énergie finale calculée par le DPE s'établit entre 400 et 450 kWhEF/m²/an. Empiriquement, nous obtenons des consommations réelles de l'ordre de 25 000 kWhEF/an pour ces logements (voir Figure 2).

Appliquons à présent les montants dédiés aux travaux de rénovation qui ont été rassemblés dans la méta-analyse : ils permettent d'atteindre un niveau de performance de l'ordre de 250 à 300 kWhEF/m²/an. Pour ces logements, qui sont donc plus performants, nous obtenons des consommations réelles de l'ordre de 22 000 kWhEF/an. Soit une consommation réelle (*i.e.* facture) de l'ordre de -12% par rapport à la maison standard non isolée.

Empiriquement, nous retrouvons donc sur données françaises le résultat issu de la méta-analyse. Mais nous pouvons en plus expliquer ce résultat au moyen de notre analyse économétrique. En effet, les gains sur la performance des logements permis par les travaux de rénovation énergétique ne se traduisent pas au démarrage par une réduction importante de la consommation réelle d'énergie/de la facture. Cela pourrait s'expliquer par un effet de "rattrapage" du confort via la température de consigne. Les ménages profitent de ce gain de performance pour se rapprocher d'une température décente pendant l'hiver, ou vont pouvoir occuper une partie plus importante de leur logement. En revanche, à partir d'un niveau raisonnable d'efficacité, les gains sur la performance se traduisent par des gains importants sur la consommation réelle. On peut alors parler d'une saturation du niveau de confort, les ménages ne se chauffant pas au delà de 22 ou 23°C, même dans des biens extrêmement performants.

Usuellement en économie nous observons des rendements marginaux décroissants. Dans le cas de la rénovation énergétique, ce sont des rendements marginaux croissants qui sont constatés : en raison de la privation que s'imposent les ménages habitant dans des passoires énergétiques, l'isolation et/ou le remplacement de la chaudière est d'abord mise à profit sous forme de gains sur la température de confort avant de permettre des gains importants sur la facture. Ce rattrapage est généralement qualifié de "prebound effect" dans la littérature (Allibe, 2012; Sunikka-Blank and Galvin, 2012; Galvin and Sunikka-Blank, 2016).

Plusieurs points méritent d'être approfondis et pourraient constituer le sujet de futurs travaux de recherche. Tout d'abord, bien que notre étude mette en évidence le "prebound effect" pour les maisons les plus énergivores et suggère un possible "effet rebond" pour les logements très performants, des données plus précises seront nécessaires pour analyser ce dernier de manière rigoureuse. Par ailleurs, la question de la qualité, centrale sur un marché caractérisé par de nombreuses asymétries d'information, demeure ouverte. Cela concerne à la fois la fiabilité des données renseignées dans le DPE et la validation de la performance des travaux qui sont des enjeux cruciaux pour la pérennité de ce marché

References

- Allibe, B. (2012). *Modélisation des consommations d'énergie du secteur résidentiel français à long terme- Amélioration du réalisme comportemental et scénarios volontaristes*. Ph. D. thesis, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS).
- Astier, J., G. Fack, J. Fournel, F. Maisonneuve, and A. Salem (2024). Performance énergétique du logement et consommation d'énergie: les enseignements des données bancaires. *Notes du Conseil d'Analyse Économique*.
- Auray, S., V. Caponi, and B. Ravel (2019). Price elasticity of electricity demand in france. *Economie et Statistique / Economics and Statistics* 513, 91–103.
- Baudry, M., E. Civel, A. Creti, and R. Presty (2024). Do building energy retrofits deliver savings? A meta-analysis. *Working Paper of the Climate Economics Chair, Paris Dauphine-PSL University*.
- Borenstein, M., L. V. Hedges, J. P. Higgins, and H. R. Rothstein (2021). *Introduction to meta-analysis*. John Wiley & Sons.
- Chabé-Ferret, S. (2022). Statistical tools for causal inference.
- Civel, E. (2019). *The Red and the Green: essays on the economics of information in the sustainable habitat market*. Ph. D. thesis, Université de Nanterre-Paris X.
- Civel, E., A. Creti, and M. Baudry (2024). Rebounding or catching back? Insights from EPCs on Energy Efficiency and Consumption Patterns in the French residential sector. *Working Paper of the Climate Economics Chair, Paris Dauphine-PSL University*.
- Galvin, R. and M. Sunikka-Blank (2016). Quantification of (p) rebound effects in retrofit policies—why does it matter? *Energy* 95, 415–424.
- Haut Conseil pour le Climat (2024). Rapport annuel : Tenir le cap de la décarbonation, protéger la population.
- SDES (2023). Le parc de logements par classe de performance énergétique au 1er janvier 2023.
- Sunikka-Blank, M. and R. Galvin (2012). Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption. *Building Research & Information* 40(3), 260–273.

CLIMAT & DÉBATS

DERNIERES PARUTIONS

Aux États-Unis, un lien établi entre élus républicains et destruction des aires protégées N° 2024-02

Philippe DELACOTE, Derya KELES, Gwenolé Le VELLY

Is the long-run Demand for Air Transportation Set to Grow? An Empirical Analysis of the US Domestic Air Travel Demand N° 2024-01

Guido AMATO

Autoriser la mise sur le marché de la viande cultivée aux États-Unis, une révolution ? N° 2023-02

Tom BRY-CHEVALIER

La France confrontée à une sécheresse et une crise énergétique sans précédent: quels liens? N° 2023-01

Giulia VAGLIETTI, Anna CRETI

Transaction behaviours of actors on the European carbon market - A focus on auctions N° 2022-06

Marie RAUDE

Insight on the impact on energy security of different climate change pathways in the EU N° 2022-05

Matteo Le HERISSE

Directeurs de Publications : Climat & Débats :
Marc Baudry, Philippe Delacote, Olivier Massol

Les opinions exprimées dans ces documents par les auteurs nommés sont uniquement la responsabilité de ces auteurs. Ils assument l'entière responsabilité de toute erreur ou omission.

The views expressed in these documents by named authors are solely the responsibility of those authors. They assume full responsibility for any errors or omissions.

La Chaire Économie du Climat est une initiative de l'Université Paris Dauphine, de la CDC, de Total et d'EDF, sous l'égide de la Fondation Institut Europlace de Finance

The Climate Economics Chair is a joint initiative by Paris-Dauphine University, CDC, TOTAL and EDF, under the aegis of the European Institute of Finance.